饲粮纤维素添加水平对生长猪磷标准消化率评定的影响

吕帅兵　刘正群　王钰明　刘静波　张宏福*　章世元*

（中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点试验室，北京 100193）

摘　要：本研究通过 2 个试验探讨了饲粮纤维素添加水平对生长猪内源磷损失（EPL）和玉米-豆粕型饲粮中磷的标准回肠消化率（SID）、标准全肠道消化率（STTD）的影响。选用 28 头回肠末端安装了简单 T 型瘘管、平均体重为（25.1±2.0） kg 的生长猪，按完全随机试验设计，分为 4 个组，每组 7 个重复，每个重复 1 头猪，试验 1 饲喂 4 个纤维素添加水平分别为 0（对照）、3%、6%和 9%的无磷饲粮。试验 2 饲喂 4 个纤维素添加水平分别为 0（对照）、3%、6%和 9%的玉米-豆粕型饲粮。2 个试验均包括 5 d 的预试期、2 d 的粪样收集期（第 6 天和第 7 天）和 2 d 的食糜收集期（第 8 天和第 9 天）。以三氧化二铬作为指示剂测定生长猪 EPL 和磷的消化率。结果表明，生长猪全肠道 EPL 随饲粮纤维添加水平提高而线性降低（$P<0.05$）；磷的表观回肠消化率（AID）、SID 和 STTD 也随饲粮纤维素添加水平提高而线性降低（$P<0.05$ 或 $P<0.01$）。根据以上结果，在本试验条件下，猪对无磷饲粮纤维素的适宜添加水平为 3%～6%，而玉米-豆粕型饲粮建议不添加纤维素；饲粮纤维素添加水平显著影响生长猪 EPL 和玉米-豆粕型饲粮中磷消化率的测定（$P<0.05$）。

关键词：内源损失；纤维素；生长猪；磷；标准消化率

中图分类号：S816.17；S828

收稿日期：2015-07-23

基金项目：国家科技支撑计划项目（2012BDA39B01，2013BAD21B02-01）；中国农业科学院科技创新工程（ASTIP-IAS07）

作者简介：吕帅兵（1988-），男，河南许昌人，硕士研究生，从事单胃动物营养研究。E-mail: shuaibinglv@163.com

*通信作者：张宏福，研究员，博士生导师，E-mail: zhanghf6565@vip.sina.com；章世元，教授，硕士生导师，E-mail: yzzsy@126.com

饲粮中的纤维成分由于不能在单胃动物小肠内消化和吸收，过去一直被认为是饲粮中的抗营养成分，然而随着纤维对宿主生理功能研究的深入，特别是在人类营养上，纤维对胆固醇、血液葡萄糖含量以及肠道健康的调节逐渐被重视，纤维与人体的健康密切相关[1]。NRC（2012）[2]已明确提出使用磷的标准全肠道消化率（standardized total tract digestibility,STTD）来进行猪的饲粮配制，而准确评定饲料原料磷的 STTD 需要使用无磷饲粮（P-free diet,PFD）来对生长猪内源磷损失（endogenous phosphorus loss,EPL）进行估计。但早期不同研究所使用的 PFD 具有不同的纤维水平，而饲粮纤维水平对养分消化率和动物内源养分损失具有显著影响。虽然前期研究指出提高饲粮粗纤维水平显著抑制生长猪的养分消化率[3]，但前期试验主要通过添加粗纤维水平较高的饲料原料提高饲粮粗纤维水平，如王诚等[4-5]测定饲粮不同纤维水平和品种对生长猪养分表观消化率的影响时发现，饲粮纤维素在较低的范围内（3%～6%），粗蛋白质消化率随着粗纤维水平的增加而提高，赖氨酸、蛋氨酸表观消化率则差异不显著。

前期研究通过添加粗纤维水平较高的饲料原料时不可避免的提高了饲粮中其他抗营养因子的含量，从而无法区分饲粮粗纤维水平和其他抗营养因子含量对养分消化率的影响。人工合成纤维的发展使得动物营养研究人员可在不改变饲粮抗营养因子含量的条件下调整饲粮纤维水平，从而关注饲粮纤维素水平对磷消化率的影响。因此，本试验以人工合成纤维素作为纤维来源，研究饲粮纤维素添加水平对生长猪 EPL 和玉米-豆粕型饲粮中磷消化率评定的影响。完成本研究可为标准化测定饲料原料中磷的 STTD 提供参考数据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

纤维素购买于美国纤维销售开发公司（*Fiber Sales Development Co.*），中性洗涤纤维（NDF）含量测定值为 55.96%。

1.2　试验设计和试验动物

本研究选择 28 头平均体重为（25.1±2.0） kg 的“杜×长×大”杂交去势公猪，按完全随机设计，分为 4 个组，每组 7 个重复，每个重复 1 头猪。试验 1 采用完全随机设计，4 个组饲喂纤维素添加水平分别为 0（对照）、3%、6%、9%的 PFD，目的在于探讨饲粮纤维素添加水平对生长猪 EPL 测定的影响，饲粮组成与营养水平见表 1。

试验 2 采用完全随机设计，4 个组饲喂纤维素添加水平分别为 0（对照）、3%、6%、9%的玉米-豆粕型饲粮，玉米-豆粕混合物中玉米和豆粕的比例为 3.1：1.0，本试验研究目的在于探讨饲粮纤维素添加水平对生长猪磷标准消化率评定的影响，饲粮组成与营养水平见表 2。试验动物及分组同试验 1。

试验动物单独饲养于代谢笼内，麻醉后通过外科手术在回肠末端安装简单 T 型瘘管。手术后试验猪于代谢笼恢复 2 周，常规护理，待试验猪采食和排泄恢复正常并保持稳定后开始试验期，室内温度控制在 18～22 ℃之间。试验动物日采食量根据生长猪体重的 4%计算得出，分别在 08:00 和 17:00 分 2 次饲喂，饮水量按照 3 倍于动物采食量供给。试验在动物营养学国家重点实验室昌平试验基地进行。

1.3 样本收集和处理

本试验分为 5 d 预试期、2 d 收粪期和 2 d 食糜收集期。选择三氧化二铬作为指示剂，每天 08:00 给生长猪饲喂含有指示剂的试验饲粮，第 5 天清洗猪笼，第 6 天和第 7 天开始收集试验动物粪样，随机采集粪样，将每天所收集的粪样及时装入塑料袋中置于-20 ℃冰箱中保存。试验第 8 天和第 9 天开始收集回肠末端食糜，从 08：00 至 18:00，连续收集 10 h。收集时用橡皮筋将约 250 mL 的软质塑料袋固定于瘘管，当塑料袋样品装满时，立即取下置于-20 ℃冰箱中保存。试验结束后将每头猪的食糜和粪样分别混合均匀后置于 65 ℃烘箱中干燥 48 h，粉碎混匀后用自封袋低温冷藏保存待测。

1.4 测定指标与方法

饲粮、食糜和粪样的干物质含量在 105 ℃条件下干燥 5 h 后测定得出。比色法测定饲粮和食糜中铬和磷的含量[6]。饲粮中钙（Ca）含量按照 GB/T 6436-2002 方法测定；饲粮中纤维素水平按照 GB/T 6434-1994 方法测定。

1.5 计算方法

饲粮磷的表观消化率按照如下公式计算：

磷的表观消化率（%）=100－（饲粮中铬含量/食糜中铬含量）×（食糜中磷含量/饲粮中磷含量）×100。

食糜中磷的排泄量和可消化磷按照如下公式计算：

食糜中磷的排泄量（mg/kg）=食糜中磷含量×饲粮中铬含量/食糜中铬含量；

可消化磷（mg/kg）=总磷摄入量－食糜中磷的排泄量。

粪中磷的排泄量按照如下公式计算：

粪中磷的排泄量（mg/kg）=粪中磷含量×饲粮中铬含量/粪中铬含量。

使用线性回归法测定豆粕中磷的标准消化率按照如下公式计算：

回肠内源磷流量=食糜中磷含量×饲粮铬浓度/食糜中铬浓度；

磷的标准回肠消化率（standardized ileal digestibility,SID，%）=磷的表观回肠消化率（AID，%）+（回肠内源磷流量/饲粮磷含量）×100。

1.6　数据统计与分析

使用 SAS 9.3 统计分析软件中的一般线性模型（GLM）分析试验数据，试验结果以平均值±标准误表示，P<0.05 为差异显著。

2　结果与分析

试验期间所有生长猪健康状况正常，未表现出明显的磷缺乏症，并按照相应的采食量采食完所有试验饲粮。

2.1　饲粮纤维素添加水平对 PFD 干物质消化率和磷排泄量的影响

由表 3 可知，饲粮纤维素添加水平对采食量、干物质摄入量、回肠食糜磷排泄量、全肠道干物质消化率的影响不显著（P>0.05）。随 PFD 纤维素添加水平的增加，回肠干物质消化率、全肠道磷排泄量均呈线性降低（P<0.05），说明饲粮纤维素添加水平的增加显著降低了回肠干物质消化率和全肠道磷排泄量。纤维素添加水平为 0、3%、6%、9%时全肠道干物质消化率分别为 88.99%、89.74%、88.86%、88.55%，其中纤维素添加水平为 3%时全肠道干物质消化率最高。纤维素添加水平为 0、3%、6%、9%时，回肠干物质消化率分别是 89.77%、82.95%、78.51%、80.53%，其中对照组回肠干物质消化率最高，说明饲粮纤维素添加水平的增加降低了回肠干物质消化率。纤维素添加水平为 9%组的全肠道磷排泄量为 1 210 mg/kg，在各组中最低；对照组全肠道磷排泄量为 1 799 mg/kg，在各组中最高。生长猪全肠道磷排泄量随着纤维素添加水平的增加而线性降低，则生长猪 EPL 随饲粮纤维素添加水平提高而线性降低。

2.2　饲粮纤维素添加水平对玉米-豆粕型饲粮干物质消化率和磷消化率的影响

由表 4 可知，全肠道磷排泄量、磷的 ATTD 不受饲粮纤维素添加水平的影响，线性差异不显著（P>0.05）。

随着饲粮纤维素添加水平的增加，干物质摄入量比较稳定，差异不显著（$P>0.05$）。随着饲粮纤维素添加水平的增加，回肠干物质消化率线性减小（$P<0.01$），说明饲粮纤维素添加水平的增加显著降低了回肠干物质消化率。随着饲粮纤维素添加水平的增加，回肠食糜磷排泄量线性增加（$P<0.01$），说明饲粮纤维素添加水平的增加极显著的提高了回肠食糜磷排泄量。全肠道干物质消化率及磷 AID、SID 和 STTD，随着纤维素添加水平的增加而线性减小（$P<0.05$ 或 $P<0.01$）。然而随着饲粮纤维素添加水平增加，全肠道磷排泄量和磷的 ATTD 呈二次函数变化，与其他组比较，纤维素添加水平为 9%组全肠道磷排泄量最大；与其他组比较，对照组生长猪磷的 ATTD 最大。饲粮纤维素添加水平在 0～3%、6%～9%范围内，全肠道磷排泄量随着纤维素添加水平增加逐渐增加；饲粮纤维素添加水平在 3%～6%范围内，全肠道磷排泄量随着纤维素添加水平的增加逐渐减小。纤维素添加水平为 9%组磷的 ATTD 和 STTD 最低，对照组磷的 ATTD 和 STTD 最高。饲粮纤维素添加水平在 0～3%、6%～9%范围内，磷的 ATTD 和 STTD 随着饲粮纤维素添加水平的增加而逐渐减小；饲粮纤维素添加水平在 3%～6%范围内，磷的 ATTD 随着饲粮纤维素添加水平的增加而逐渐增加。

随着饲粮纤维素添加水平的增加，磷的 SID 和 STTD 线性减小（$P<0.01$）。对照组磷的 SID 和 STTD 最高，分别为 61.04%和 85.78%。随着纤维素的添加水平增加，磷的 SID 由 61.04%降到了 57.88%；磷的 STTD 由 85.78%降到了 59.61%。

3 讨 论

3.1 饲粮纤维素添加水平对 EPL 的影响

关于生长育肥猪对纤维素的消化吸收及纤维素对饲粮中其他养分的影响，国内外的学者已进行了大量的研究。Sève 等[7]研究表明，饲喂无氮饲粮的猪随饲粮中纤维水平从 3.0%增加到 6.0%，内源氨基酸排泄量显著升高，当饲粮中纤维水平达到 6%后趋于平缓。Furuya 等[8]用纯纤维素所做的试验结果表明，中性洗涤纤维从 3.0%增加到 15.0%，内源氨基酸排泄量有增加的趋势但未达到显著水平。本试验研究了饲粮纤维素添加水平对 EPL 的影响，而测定饲粮磷标准消化率的关键，是内源磷排泄量的确定。由于矿物质元素在体内代谢交换速度快和在消化道的重吸收等原因，所以对内源磷的准确测定相对困难，目前内源磷大多采用估计值，如 NRC（1998）[9]认为粪 EPL 为 0.02 g/(kg·d)，尿 EPL 很少，可忽略不计；Georgeobskii 等

[10]研究表明，生长猪仅有一小部分磷通过肾排出，只占饲粮摄入总量的百分之几，粪中内源磷通常不超过磷总摄入量的 10%；Jongbloed 等[11]研究也表明，猪排泄内源磷为 8～10 mg/kg。内源磷排泄量是动物生命活动过程中不可避免的磷最低损耗，是研究饲料可消化磷的前提和基础。准确估测内源磷排泄量是磷标准消化率评定研究中众所关注的问题。本试验研究结果表明，纤维素添加水平为 9%的试验组全肠道磷排泄量为 1 210 mg/kg，在各组中最低；对照组全肠道磷排泄量为 1 799 mg/kg，在各组中最高。生长猪全肠道磷排泄量随着纤维素添加水平的增加而线性降低，生长猪 EPL 随饲粮纤维素添加水平提高而线性降低。原因可能是纤维素刺激了大肠对内源磷的重吸收，每日总需要的磷大部分在猪体内胃肠道被循环吸收利用，这与 Fan 等[12]报道相一致。排泄到胃肠道的总内源磷包括唾液、胃肠道、胆汁、胰液以及小肠壁脱落细胞和死亡细胞中的磷。

3.2　饲粮纤维素添加水平对磷标准消化率的影响

磷的表观消化率由于受到动物内源磷排泄量的影响，无法真实准确地反映动物对饲粮中磷的利用效率。准确测定饲粮磷的标准消化率是提高猪对磷利用效率的主要途径之一。标准消化率由于考虑了动物内源磷排泄量，因而评定出的生物学效价更加接近动物的实际利用情况。

本试验结果显示，随着饲粮中纤维素添加水平的提高，饲粮中磷的表观消化率显著降低，这与有关研究中得出的普遍结论相符合。由于饲粮纤维具有很强的阳离子交换能力，可以吸附很多矿物质，造成矿物质利用率降低，Moore 等[13]分别测定了纤维素对矿物质（如铜、钙、磷等）消化吸收的影响，均证实纤维素对矿物质的消化具有抑制作用。

用基础 EPL 对磷表观全肠道消化率（ATTD）进行校正，得到磷 STTD。本试验结果表明，对照组磷的 SID 和 STTD 最高，分别为 61.04%和 85.78%，显著高于纤其他组。随着纤维素的添加水平增加，磷的 SID 由 61.04%降到了 57.88%；磷的 STTD 由 85.78%降到了 59.61%。结果显示，随着饲粮纤维素添加水平的提高，磷的 SID 逐渐降低且差异显著，这与大家有关纤维素营养的研究得出的普遍结论相符合。究其原因可能是较高的饲粮纤维素水平意味着饲粮的难消化组分比例增加，消化能浓度下降，加上体积膨大的影响，易加重消化道负担，导致能量摄入不足，从而降低了磷的 SID 和 STTD；同时，由于增加纤维素水平可提高胃肠蠕动速度，从而加快食糜流通速率并降低食糜与消化酶的接触时间，最终降低养分的消化率。

Cherbut 等[14]研究表明，饲粮纤维素倾向于减少食糜在消化道内的滞留时间，增加流通速度，从而降低了养分的消化率。Jorgensen 等[15]研究证实，猪采食高纤维素水平饲粮后，其消化道食糜在回肠末端的通过速度提高了 5～6 倍。Wilfart 等[16]在研究麦麸纤维对食糜在消化道不同部位贮留时间的影响时也发现，高纤维素水平可降低食糜中固体部分在小肠的停留时间。因此，配合饲料中使用 STTD 数据能够更好地估测饲粮各原料中可消化磷的含量，进而获得数据更精准的饲粮配方。

4　结　论

①提高饲粮纤维素添加水平显著降低饲喂 PFD 测得生长猪的全肠道 EPL。在本试验条件下，猪对 PFD 纤维素适宜的添加水平为 3%～6%。

②玉米-豆粕型饲粮中磷的 SID 和 STTD 随饲粮纤维素添加水平提高而显著降低。

参考文献：

[1]　张雅莉,蔡美琴.膳食纤维的抗氧化及调节血糖血脂作用综述[C]//膳食纤维与健康——达能营养中心第十七届学术年会会议论文集.北京:中国疾病预防控制中心达能营养中心,2014.

[2]　NRC(National Research Council).Nutrient requirements for swine.Washington D C:National Academy Press,2012.

[3]　伊佳.不同纤维源对猪生长性能、养分消化率和肉品质的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2012:24-30.

[4]　王诚,王文亭,李福昌.日粮粗纤维水平对莱芜猪及其杂交猪氮代谢及营养物质消化率的影响[J].山东农业大学学报:自然科学版,2011,42(3):422-427.

[5]　王诚,藺海朝,王彦平.日粮纤维水平对猪营养物质表观消化率的影响[J].中国畜牧兽医,2011,38(4):23-29.

[6]　张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].2版.北京:中国农业大学出版社,2006.

[7]　SÈVE B,MARISCAL-LANDIN G,COLLEAUX Y,et al.Ileal endogenous amino acid and amino sugar flows in pigs fed graded levels of protein or fiber[C]//Proc.Vith Intern.Symp.On Digestive Physiology in Pigs,1994,1:35-38.

[8]　FURUYA S,KAJI Y.The effects of feed intake and purified cellulose on the endogenous ileal amino acid

flow in growing pigs[J].British Journal of Nutrition,1992,68(2):463-472.

[9] NRC(National Research Council).Nutrient requirements for swine.Washington D C:National Academy Press,1998.

[10] GEORGEOBSKII V I,ANNENKOV B N,SAMOKHIN V T.Mineral nutrition of animals:studies in the agricultural and food sciences[M].Moscow:Butterworths,2013.

[11] JONGBLOED A W,EVERTS H,KEMME P A.4-Phosphorus availability and requirements in pigs[J].Recent advances in animal nutrition-1991,1991:65-80.

[12] FAN M Z,ARCHBOLD T,SAUER W C,et al.Novel methodology allows simultaneous measurement of true phosphorus digestibility and the gastrointestinal endogenous phosphorus outputs in studies with pigs [J].Journal of Nutrition,2001,131(9):2388-2396.

[13] MOORE R J,KORNEGAY E T,GRAYSON R L,et al.Growth,nutrient utilization and intestinal morphology of pigs fed high-fiber diets[J].Journal of animal science,1988,66(6):1570-1579.

[14] CHERBUT C,AUBE A C,MEKKI N.Digestive and metabolic effects of potato and maize fibres in human subjects[J].British Journal of Nutrition,1997,77(1):33-46.

[15] JORGENSEN H,ZHAO X Q,EGGUM B O.The influence of dietary fibre and environmental temoperature on the development of the gastrointestinal tract,digestibility,degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs[J].British journal of nutrition,1996,75(3):365-378.

[16] WILFART A,MONTAGNE L,SIMMINS H,et al.Effect of fibre content in the diet on the mean retention time in different segments of the digestive tract in growing pigs[J].Livestock Science,2007,109(1/2/3):27-29.

表 1　试验 1 饲粮组成和营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of diets in experiment 1 (air-dry basis)　　%

项目 Items	纤维素添加水平 Fiber supplemented level			
	0	3	6	9
原料 Ingredients				
玉米淀粉 Cornstarch	77.55	74.55	71.55	68.55
三氧化二铬 Chromic dioxide	0.50	0.50	0.50	0.50
胆碱 Choline	0.10	0.10	0.10	0.10
预混料 Premix[1)]	0.25	0.25	0.25	0.25
纤维素 Fiber		3.00	6.00	9.00
石粉 Limestone	0.80	0.80	0.80	0.80
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30
蔗糖 Sucrose	20.00	20.00	20.00	20.00
碳酸钾 K_2CO_3	0.40	0.40	0.40	0.40
氧化镁 MgO	0.10	0.10	0.10	0.10
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]				
干物质 Dry matter	90.72	87.94	90.47	89.93
消化能 Digestible energy/(MJ/kg)	14.99	15.12	14.96	15.05
粗蛋白质 Crude protein	2.54	2.87	2.86	2.71
中性洗涤纤维 NDF	0.27	1.88	4.36	7.35
酸性洗涤纤维 ADF	0.03	0.04	0.05	0.06
钙 Ca	0.32	0.34	0.32	0.31
总磷 Total P	0.079	0.077	0.074	0.073

[1)]预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of diets:Cu（$CuSO_4·5H_2O$）8 mg，Fe（$FeSO_4·7H_2O$）80 mg，Mn （$MnSO_4·H_2O$） 20 mg，Zn （Zn $SO_4·H_2O$） 80 mg，Se （Na_2SeO_3） 0.3 mg，I （KI） 0.4 mg，VA 12 000 IU，VD_3 6 000 IU，VE 60 IU，VK_3 3.6 mg，VB_1 2 mg，VB_2 6 mg，VB_6 4 mg，VB_{12} 0.02 mg，生物素 biotin 0.2 mg，泛酸 pantothenic acid 10 mg，烟酸 niacin 80 mg，叶酸 folic acid 1 mg。表 2 同 The same as Table 2。

[2)] 测定值 Measured values。表 2 同 The same as Table 2。

表 2　试验 2 饲粮组成和营养水平（风干基础）

Table 2　Composition and nutrient levels of diets in experiment 2 (air-dry basis)　　%

项目 Items	纤维素添加水平 Fiber supplemented level			
	0	3	6	9
原料 Ingredients				
玉米 Corn	62.00	62.00	62.00	62.00
玉米淀粉 Cornstarch	15.00	10.00	5.00	
豆粕 Soybean meal	20.00	20.00	20.00	20.00
三氧化二铬 Chromic dioxide	0.50	0.50	0.50	0.50
豆油 Soybean oil		2.00	4.00	6.00
胆碱 Choline	0.10	0.10	0.10	0.10
预混料 Premix	0.25	0.25	0.25	0.25
纤维素 Fiber		3.00	6.00	9.00
石粉 Limestone	0.80	0.80	0.80	0.80
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.05	1.05	1.05	1.05

食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels				
干物质 Dry matter	87.36	88.11	88.59	89.11
消化能 Digestible energy/(MJ/kg)	15.88	16.47	17.07	17.54
粗蛋白质 Crude protein	14.14	14.11	14.29	14.24
中性洗涤纤维 NDF	7.47	10.54	12.81	14.63
酸性洗涤纤维 ADF	1.68	1.87	1.98	2.18
钙 Ca	0.62	0.64	0.65	0.61
总磷 Total P	0.533	0.536	0.549	0.545

表 3　饲粮纤维素水平对无磷饲粮干物质消化率和磷排泄量的影响

Table 3　Effects of dietary fiber supplemented level on digestibility of dry matter and P output in P-free diet

项目 Items	纤维素添加水平 Fiber supplemented level/%				SEM	*P* 值 *P*-value	
	0	3	6	9		线性 Linear	二次 Quadratic
体重 Body weight/kg	46.4	46.2	46.3	46.1	0.484	0.981	0.840
采食量 Feed intake/(g/d)	927	924	925	922	9.68	0.981	0.840
干物质摄入量 Dry matter intake/(g/d)	841	823	837	829	8.8	0.357	0.325
回肠干物质消化率 Ileal dry matter digestibility/%	89.77	82.95	78.51	80.53	2.37	0.021	0.701
全肠道干物质消化率 Total tract dry matter digestibility/%	88.99	89.74	88.86	88.55	1.18	0.742	0.569
回肠食糜磷排泄量 Ileal digesta P output/(mg/kg)	678	802	798	928	106.96	0.676	0.648
全肠道磷排泄量 Total tract P output/(mg/kg)	1 799	1 646	1 225	1 210	164.41	0.038	0.547

表 4　饲粮纤维素水平对玉米-豆粕型饲粮干物质消化率和磷消化率的影响

Table 4　Effects of dietary fiber supplemented level on digestibility of dry matter and P in corn-soybean meal diet

项目 Items	纤维素添加水平 Fiber supplemented level/%				SEM	*P* 值 *P*-value	
	0	3	6	9		线性 Linear	二次 Quadratic
体重 Body weight/kg	45.7	44.9	45.6	44.5	0.514	0.683	0.262
采食量 Feed intake/(g/d)	915	897	911	891	10.28	0.683	0.262
干物质摄入量 Dry matter intake/(g/d)	799	791	807	794	9.0	0.282	0.302
磷摄入量 P intake/(mg/kg)	4 655	4 722	4 862	4 859			
回肠干物质消化率 Ileal dry matter digestibility/%	79.52	76.83	70.16	69.82	0.79	<0.001	0.076
全肠道干物质消化率 Total tract dry matter digestibility/%	87.61	85.83	84.69	79.64	0.64	0.023	0.712
回肠食糜磷排泄量 Ileal digesta P	2 492	2 666	2 947	2 974	44.10	<0.001	0.374

output/(mg/kg)							
全肠道磷排泄量 Total tract P output/(mg/kg)	2 461	2 711	2 659	3 173	39.00	0.154	0.011
磷的表观回肠消化率 AID of P/%	44.72	43.91	39.92	40.85	0.93	0.002	0.212
磷的表观全肠道消化率 ATTD of P/%	47.38	42.98	45.78	34.74	0.82	0.567	0.005
磷的标准回肠消化率 SID of P/%	61.04	60.53	55.81	57.88	0.93	<0.001	0.107
磷的标准全肠道消化率 STTD of P/%	85.78	77.46	70.51	59.61	0.82	<0.001	0.539

Effects of Dietary Fiber Supplemented Level on the Determination of Standardized Digestibility of Phosphorus for Growing Pigs

LV Shuaibing LIU Zhengqun WANG Yuming LIU Jingbo ZHANG Hongfu* ZHANG Shiyuan*

(Institute of Animal Sciences, State Key Laboratory of Animal Nutrition, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193*)*

Abstract: Two experiments were conducted in this study to investigate the effects of dietary fiber supplemented level from purified cellulose on the estimation of endogenous phosphorus (P) loss (EPL), and standardized ileal digestibility (SID) and standardized total tract digestibility (STTD) of P in corn-soybean meal diets for growing pigs. Twenty-eight growing pigs with initial body weight of (25.1±2.0) kg were surgically fitted with simple T-cannulas at the distal ileum. According to a completely randomized design. The pigs were assigned to 4 groups with 7 replicates in each group and 1 pig in each replicate. In experiment 1, 4 groups were assigned to P-free diets containing 4 levels of purified cellulose supplementation [0 (control), 3%, 6% and 9%]. In experiment 2, 4 groups were assigned to corn-soybean meal diets containing 4 levels of purified cellulose supplementation [0 (control), 3%, 6% and 9%]. According to a completely randomized design. In two experiments, the experimental period consisted of a 5 days pre-test period, 2 days for feces collection on 6 and 7 day, and 2 days for ileal digesta collection on 8 and 9 day. Chromic oxide was included in diets to determine basal EPL and apparent digestibility of P. The results showed that the estimates of basal EPL for total tract of pigs was linearly decreased with dietary fiber supplemented level from purified cellulose ($P<0.05$). The apparent ileal digestibility (AID), SID and STTD of P in diets were linearly decreased with increasing fiber supplemented level ($P<0.05$ or $P<0.01$). In conclusion, under the condition of this experiment, the suitable addition level of cellulose is 3% to 6% in P-free diets of growing pigs, and no add recommend in the corn-soybean meal diet. Dietary fiber supplemented level significantly influence the determination of EPL for growing pigs, and P digestibility in corn-soybean meal diets.

Key words: endogenous loss; fiber; growing pigs; phosphorus; standardized digestibility

*Corresponding authors: ZHANG Hongfu, professor, E-mail: zhanghf6565@vip.sina.com; ZHANG Shiyuan, professor, yzzsy@126.com

（责任编辑　李慧英）